

Artículo Original / Original Article

Características nutricionales y antioxidantes de la especie de frijol petaco (*Phaseolus coccineus*)

Nutritional and antioxidant characteristics of petaco bean species (*Phaseolus coccineus*)

Ramiro Antonio Bedoya¹. <https://orcid.org/0000-0002-1439-4480>
María Elena Maldonado^{*}. <https://orcid.org/0000-0003-4664-6336>

1. Grupo Impacto de los Componentes Alimentarios en la Salud, Escuela Nutrición y Dietética, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

*Dirigir correspondencia: María Elena Maldonado C.
Grupo Impacto de los Componentes Alimentarios en la Salud, Escuela Nutrición y Dietética, Universidad de Antioquia, Ciudadela Robledo Bloque 44, Carrera 75 #67-87, Medellín, Colombia.
E-mail: maria.maldonado@udea.edu.co

Este trabajo fue recibido el 23 de junio de 2021.
Aceptado con modificaciones: 12 de agosto de 2021.
Aceptado para ser publicado: 20 de octubre de 2021.

RESUMEN

El frijol petaco (*Phaseolus coccineus* L.) es una leguminosa cultivada en Colombia, con baja producción y consumo. En esta investigación se determinaron las características fisicoquímicas y antioxidantes del frijol petaco en dos estados de madurez fisiológica, semilla verde y seca. El análisis de composición proximal en el frijol seco presentó el incremento en todos sus macronutrientes con pérdida de humedad. El contenido de fibra dietaria total e insoluble fue mayor en el frijol verde, pero la fibra insoluble se incrementó en semilla seca. El frijol verde tiene mayor contenido de Na y K, aunque en el frijol seco aumentó el contenido de Ca, Fe, Zn, Mn y P. El valor FRAP y contenido de fenoles totales fueron mayores en el frijol seco, el valor ORAC fue similar en ambas semillas. Los resultados indican que el frijol petaco es una leguminosa con potencial antioxidante, compuestos bioactivos y nutrientes para la salud.

Palabras clave: Capacidad Antioxidante; Fibra Dietaria; Frijol; Nutrición; *Phaseolus coccineus*; Nutrición.

ABSTRACT

The petaco bean (*Phaseolus coccineus* L.) is a legume cultivated in Colombia, with low production and consumption. In this research, physicochemical and antioxidant characteristics of petaco beans at two physiological maturity stages, green and dry seed, were determined. The proximate composition analysis of dry beans showed an increase in all macronutrients

with moisture loss. Total, and insoluble dietary fiber content was higher in the green bean, while insoluble fiber was higher in dry seed. The green bean had higher Na and K content and dry bean had higher Ca, Fe, Zn, Mn and P. FRAP value and total phenol content were higher in the dry bean and ORAC value was similar in both seeds. The results indicate that the petaco bean is a legume with antioxidant potential, bioactive compounds and nutrients for health.

Keywords: Antioxidant capacity; Bean; Dietary fiber; Nutrition; *Phaseolus coccineus*.

INTRODUCCIÓN

El frijol petaco (*Phaseolus coccineus*), es una planta que se cultiva en condiciones de 1.200 a 2.200 msnm y precipitaciones de 2.499 mm³ promedio año¹, la duración del cultivo hasta su cosecha varía de 180 a 190 días. En Colombia, esta especie de frijól se cultiva en el occidente y en la subregión del oriente del departamento de antioqueño, especialmente, en el municipio de Guatapé². El frijól se utiliza comúnmente para la preparación de sopas y guisados, sin embargo, es de bajo consumo debido a su sabor amargo y baja digestibilidad, además culturalmente es considerado una maleza debido a su capacidad para crecer desproporcionadamente².

El frijól petaco (*Phaseolus coccineus*) es una leguminosa que contiene aminoácidos hidrofóbicos (alanina, leucina, isoleucina, valina, prolina, fenilalanina, triptófano y metionina) y aromáticos (fenilalanina, triptófano, tirosina) algunos de los cuales son aminoácidos esenciales (histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina) y junto con los aminoácidos no-esenciales aportan al anabolismo de las proteínas celulares³. Además, se ha reportado la concentración de algunos de sus componentes como: sacarosa (55,6–62,2 g/kg), estaquiosa (24-24,4 g/kg), ácido glutámico (32,2-35,8 g/kg), cisteína (2.075 mg GAE/kg), compuestos fenólicos totales (2.075 mg GAE/kg), flavonoides totales (1.612 mg QE/kg) y antocianinas totales (1.193 mg CGE/kg), al igual que una alta actividad antioxidante⁴. En relación con el análisis de su composición proximal, por cada 100 g de este frijól en estado seco se puede encontrar entre 24,5 g y 24,6 g de proteínas, de 15,2 g a 19,8 g de grasas totales, de 79,8 g a 87,6 g de humedad, de 4,6 g a 10,5 g de fibra total, y entre 47 g y 66 g de carbohidratos totales².

Las leguminosas presentan un importante contenido de fitoquímicos con actividad biológica, lectinas que; inhiben la enzima α -amilasa, inhibidores de la glucosidasa, flavonoides (glucósidos de flavonol, antocianinas y taninos condensados) con capacidad antioxidante, fibra dietaria (soluble e insoluble) que contribuye al tránsito intestinal, y fitatos, especialmente presentes en el género *Phaseolus*, considerados importantes para la prevención de enfermedades crónicas (cáncer, diabetes y cardiovasculares)⁵. También se ha reportado que el consumo de frijól reduce considerablemente los porcentajes de colesterol total, disminuye hasta en un 50% el riesgo de cáncer de colon, próstata y mama⁶. Igualmente, los carbohidratos complejos que contiene, debido a su lenta digestión y bajo índice glicémico, son óptimos para población diabética⁶, y es una

fuerza de hierro, importante en la prevención y control de la anemia⁴.

Según estadísticas⁷, en Colombia, en el año 2019 se ha cultivado 91,23 hectáreas de frijól con un rendimiento de 1,25 tonelada/hectárea y una producción de 113 toneladas, correspondiente en su gran mayoría a la especie de frijól *Phaseolus vulgaris* sin mostrar ningún reporte del frijól petaco dentro de la base de datos existentes. El frijól petaco es una especie que no se menciona en la cadena productiva de frijól⁷ ni en la tabla de composición de Alimentos de Colombia 2015⁸, probablemente, porque su producción y superficie sembrada se incluye en las cifras totales del frijól común (*Phaseolus vulgaris*), debido en parte, a que el fitomejoramiento se ha encaminado en gran medida al frijól común que es la especie de mayor demanda, es decir, mejoramiento genético para la selección o mejora de características deseadas, con el fin de aumentar la productividad, calidad, resistencia a patógenos, propiedades del cultivo y eficiencia nutricional¹.

Tomando en cuenta el potencial nutricional y la importancia de apoyar el consumo de frijól petaco como un producto agrícola parte de la soberanía alimentaria de Colombia, esta investigación tiene como objetivo generar nuevo conocimiento en relación con las características nutricionales y antioxidantes del grano del frijól petaco en estado verde y seco, que permitan un mayor aprovechamiento biológico y desarrollo de alimentos con éste grano como alternativa de consumo respecto a la especie de frijól común (*Phaseolus vulgaris*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal. Se utilizaron granos de frijól petaco (*Phaseolus coccineus* L.) en estado verde (con un tiempo de madurez fisiológica de 180 días después de la emergencia de la planta) y en estado seco (con un tiempo de madurez fisiológica de 192 días después de la emergencia de la planta) de color violeta, sin perforaciones por insectos o manchas negras, obtenidos de la finca Nijaragual, vereda Guapante del Municipio de Guarne, Departamento de Antioquia (latitud: 6.267, longitud: -7.5433 y 2.280 m.s.n.m). Los granos fueron limpiados, seleccionados y posteriormente pesados (gramera Mettler Toledo, PB-3001-S), empacados en bolsa herméticas metalizadas (16x24, NTJ500), rotuladas y almacenadas a -20 °C hasta el momento de su uso. Igualmente, se recolectó un espécimen vegetal para su identificación por parte del herbario de la Universidad de Antioquia (HUA). Esta muestra fue depositada y coleccionada correctamente bajo el número de radicado HUA224237 (Figura 1).

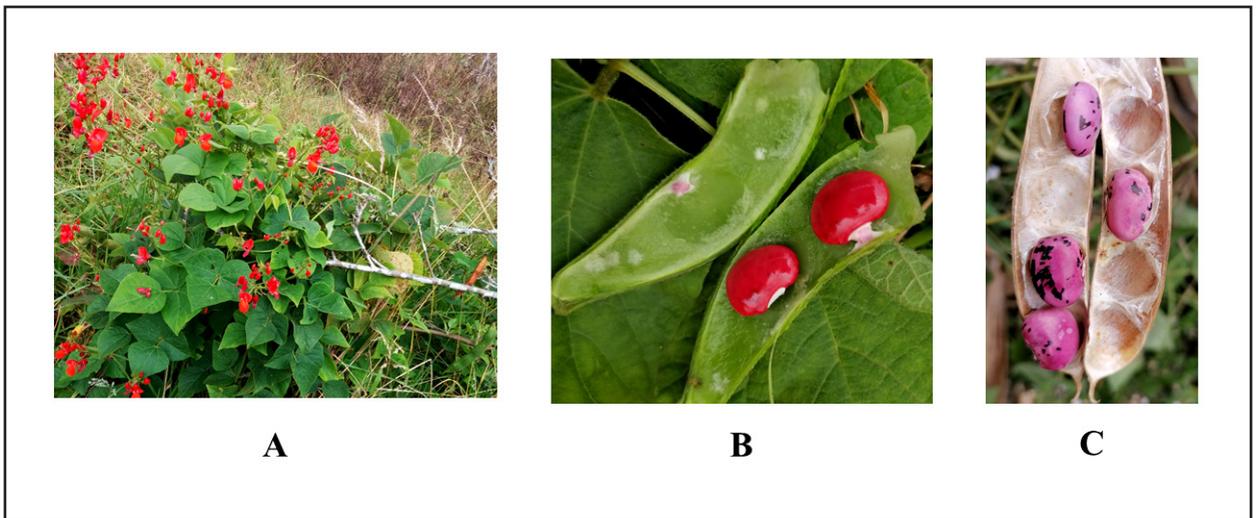


Figura 1: Planta (A), semilla en estado verde (B), semilla en estado seco (C).

Análisis de composición proximal. El análisis de composición proximal del frijol verde y seco se realizó según los siguientes métodos. El contenido de humedad se determinó por el método gravimétrico (pérdida por secado) IN-GS-3.053, el contenido de cenizas se obtuvo por el método gravimétrico IN-GS-3.045, el contenido de proteína total se analizó por el método (coeficiente 6,25) Microkieldhal-IN-GS-3.048 y el contenido de lípidos totales se determinó con el método IN-GS-3.050. Los valores de carbohidratos se obtuvieron por diferencia mediante el modelo de cálculo: $100 - (\text{humedad} + \text{cenizas} + \text{proteínas} + \text{grasa})$ y sus resultados fueron expresados en g/100 g, las calorías se calcularon a partir del contenido de carbohidratos totales, grasas y proteínas, mediante el modelo de cálculo: $(\% \text{ carbohidratos} * 4) + (\% \text{ grasa} * 9) + (\% \text{ proteína} * 4)$, y sus resultados fueron expresados en Kcal/100 g.

Determinación del contenido de fibra dietaria. El contenido de fibra dietaria total de frijol verde y seco, así como de fibra dietaria soluble e insoluble se determinó empleando los métodos de la Association of Official Agricultural Chemists (AOAC). El contenido de fibra total se obtuvo con el método 985.29, la fracción de fibra dietaria soluble (SDF) con el método 993.19 y la fracción de fibra dietaria insoluble (IDF) con el método 991.42.

Contenido de minerales de importancia nutricional. Para determinar el contenido de minerales se realizó por espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente según los métodos de la AOAC para cada uno de los siguientes minerales: contenido de potasio (método 984.27), contenido de calcio (método 984.27), contenido de sodio (método 984.27), contenido de hierro (método 984.27), contenido de zinc (método 984.27) y

contenido de manganeso (método 984.27). La concentración de fósforo se determinó mediante el método IN-GS-3.476.

Análisis de capacidad antioxidante

Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP). Este método evaluó el poder reductor de una muestra con base a su capacidad para reducir el hierro férrico (Fe^{+3}) presente en un complejo con la 2,4,6-tri(2-piridil)-s-triazina (TPTZ) hasta la forma ferrosa (Fe^{+2}), que presenta un máximo de absorbancia a una longitud de onda entre 590-595 nm⁹.

Este ensayo se realiza con la mezcla buffer ácido acético-acetato de sodio (pH 3,4) TPTZ y FeCl_3 . Se utilizaron 900 μL de esta solución, 50 μL de muestra (extracto etanólico-acuoso 60:40) y 50 μL de agua destilada, y posterior a 60 min de reacción se midió la absorbancia a una longitud de onda de 593 nm en un espectrofotómetro Jenway® 6405 UV/Vis. La curva de calibración se construyó con Trolox como estándar. Los resultados se expresaron como $\mu\text{moles equivalentes Trolox/g}$ muestra.

Capacidad de absorbancia de radicales de oxígeno (ORAC). El método ORAC¹⁰ mide el efecto estabilizador de los radicales libres que tienen los compuestos antioxidantes mediante un mecanismo de donación de un átomo de hidrógeno.

Las lecturas se realizaron a una longitud de onda de excitación 493 nm con slit de excitación 10 nm; y λ de emisión 515 nm con slit de emisión 15 nm, atenuador del 1%. Para el desarrollo de la técnica se utilizaron soluciones de fluoresceína 1×10^{-2} M y AAPH (2,2'-azo-bis(2-amidino-propano) dihidrocloruro) 0,6 M disueltas en PBS (75 mM). El análisis se realizó con 21 μL de fluoresceína, 2,899 μL de PBS, 30 μL de diluciones del extracto etanólico-acuoso (60:40) de cada frijol y 50 μL de AAPH. El efecto protector

antioxidante de las muestras es calculado usando las diferencias de áreas bajo la curva de decaimiento de la fluorescencia entre un blanco y la muestra, se compara contra la curva del Trolox. Los resultados se expresaron como μ moles equivalentes Trolox/g muestra, de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$ORAC = \frac{(AUC - AUC^0)}{(AUC_{Trolox} - AUC^0)} f[Trolox]$$

Donde AUC es el área bajo la curva de la muestra, AUC⁰ el área bajo la curva para el control, AUC_{Trolox} área bajo la curva para el trolox, f es el factor de dilución de la muestra. La fluorescencia se midió en un espectrofotómetro de fluorescencia PerkinElmer® LS55.

Determinación de fenoles totales. Los compuestos fenólicos totales se determinaron colorimétricamente con el método Folin Ciocalteu¹⁰. Este método se basa en la reacción del ácido fosfo-túngstico como oxidante, el cual en un medio alcalino es fácilmente reducido por grupos fenólicos produciendo una coloración azul con una absorbancia máxima a 765 nm, cuantificada espectrofotométricamente (Biorad iMARK, Berkeley, CA, US). Para reportar la concentración de fenoles totales, se utilizó el ácido gálico como estándar para una curva de calibración. Se diluyó el extracto etanólico-acuoso (60:40) de frijol verde o seco a una concentración de 5% y 2%, respectivamente, ésta se mezcló con solución de carbonato de sodio al 7,5%, solución de Folin-Ciocalteu por 1 h en oscuridad, posteriormente se midió la densidad óptica. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico (GAE)/g de muestra.

Análisis estadístico

Los datos se presentaron como promedio \pm desviación estándar. Las diferencias estadísticas se evaluaron con Test de Student para comparaciones múltiples con un nivel de significancia $P < 0,05$. Los análisis se realizaron con el programa estadístico GraphPad Prism versión 8.00 para Windows (GraphPad Software, San Diego, CA, USA).

RESULTADOS

Análisis de composición proximal del frijol petaco en estado verde y seco. En la tabla 1 se presentan los resultados del análisis de composición proximal del frijol, se muestran los parámetros en los cuales se observaron los mayores cambios entre los dos estados del grano, humedad, carbohidratos y calorías totales. El frijol verde perdió 55% de humedad en el estado seco, mientras que el contenido de carbohidratos y calorías totales aumentó 1,6 veces equivalente a 22,4 g y 108 kcal, respectivamente en la semilla seca. También se observaron incrementos de 1,3 y 3 veces en el contenido de proteína y grasa total coherente con el aumento de 3

Tabla 1. Análisis de composición proximal frijol petaco verde y seco /100 g.

Parámetros	Frijol verde	Frijol seco
Humedad (g)	49,6	22,1
Ceniza (g)	2,42	3,65
Proteína (g)	12,2	15,7
Lípidos (g)	0,21	0,64
Carbohidratos (g)	35,4	57,8
Calorías (Kcal)	192	300
Calorías de grasa	1,92	5,78

veces en el valor de las calorías de grasa en el frijol seco con respecto a la semilla en estado verde.

Análisis del contenido de fibra dietaria. En relación con el contenido de la fibra dietaria del frijol petaco verde y seco (Tabla 2), se encontraron cambios estadísticamente significativos en el contenido de la fibra dietaria total e IDF, se observó una disminución en ambos parámetros de 4,4% y 10,8%, respectivamente en el frijol seco con respecto al frijol verde, mientras que la SDF en el frijol seco aumentó 1,3 veces respecto a su contenido en el frijol verde, pero este cambio no fue estadísticamente significativo.

Análisis del contenido de minerales. Se analizaron en ambos estados del frijol el contenido de minerales importantes para la nutrición humana (Tabla 3), en los cuales se observaron cambios en el contenido de todos, aumentó en el frijol seco la concentración de Ca (17,3 mg), Fe (1,0 mg), Zn (0,298 mg), Mn (0,023 mg) y P (218), siendo estadísticamente significativo el cambio para Mn y Zn con respecto al frijol verde. Por otro lado, el contenido de K y Na mostraron un comportamiento contrario a los anteriores micronutrientes, es decir, el contenido de K y Na tuvieron un aumento de 451 mg y 6,02 mg más en el frijol verde respecto al frijol seco, respectivamente, aunque estos cambios no fueron estadísticamente significativos.

Análisis de la capacidad antioxidante y contenido de fenoles totales. La capacidad antioxidante se valoró mediante los métodos FRAP Y ORAC, obteniéndose que el frijol seco presenta un valor FRAP significativamente mayor con respecto al frijol verde, es decir este frijol contiene componentes que le confieren una mayor capacidad antioxidante reductora, mientras que el valor ORAC no presentó diferencias entre ambas muestras, es decir que ambas muestran contienen compuestos con capacidad de neutralizar especies reactivas del oxígeno y su capacidad antioxidante ORAC es comparable entre ellas (Tabla 4). En relación con el contenido de fenoles totales en el frijol seco fue significativamente mayor 3,3 veces comparado con el valor encontrado en el frijol verde.

Tabla 2. Contenido de fibra dietaria de frijol petaco verde y seco /100 g.

Tipo de fibra	Frijol verde	Frijol seco
Fibra total (g)	16,1	15,4*
Fibra Soluble (SDF) (g)	2,51	3,27
Fibra Insoluble (IDF) (g)	13,6	12,1*

Frijol verde versus frijol seco: * P<0,05.

Tabla 3. Contenido de minerales de importancia nutricional en frijol petaco verde y seco.

Minerales (mg/100 g muestra)	Frijol verde	Frijol seco
Potasio (K)	1089	638
Calcio (Ca)	82,1	99,4
Hierro (Fe)	3,29	4,31
Manganeso (Mn)	0,818	0,841**
Zinc (Zn)	1,85	2,15*
Sodio (Na)	19,4	13,4
Fósforo (P)	283	502

* Frijol verde versus Frijol seco: P<0,05.

DISCUSIÓN

Según los datos obtenidos en la tabla 1, la pérdida de humedad que se presentó en el frijol verde es coherente con el estado seco de frijol, cuyo valor de humedad es inferior al reportado para cuatro variedades de frijol petaco con valores de 83,3 g (frijol negro), 79,8 g (frijol morado), 87,6 g (frijol marrón) y 82,4 g (frijol blanco)⁴, mientras que también hay frijol seco reportado con mayor contenido de humedad, 71,4 g¹¹ y de 103 g¹² con respecto al estudiado aquí. Estas pérdidas de humedad se deben a que el agua se mueve de los sitios de alta concentración a los sitios de menor concentración. Es así como el agua se mueve del medio externo a la semilla o viceversa. El flujo de agua es proporcional a la magnitud de la diferencia (gradiente), la permeabilidad de la testa y la capacidad de difundirse dentro de la semilla, cuando el agua es altamente disponible en el medio ambiente debido a lluvias, condensaciones y humedades relativas altas, ésta es absorbida por la semilla o al contrario⁵. Durante la madurez fisiológica de las semillas, estas tienden a perder gran cantidad de agua por diferencias de humedad con el medio ambiente hasta llegar a su punto óptimo². En presencia de daños en la testa o del pericarpo, la semilla es más susceptible al efecto del ambiente⁵.

En relación al contenido de cenizas, fue mayor en el frijol petaco seco respecto al verde, aunque inferior a valores reportados por otros autores 3,99 g^{11,13}, 4,11 g⁴, 24,1 g² y de 45 g a 48 g¹¹ en *P. coccineus* coloreadas de Letonia, pero superior al valor presentado por Alvarez et al.² para este frijol, 2,42 g. Este contenido de cenizas en el frijol seco indica un cantidad total de minerales, materia seca orgánica y micro elementos mayor al compararlo con el frijol verde, los cuales se van concentrando en la semilla a medida que va llegando a la etapa final de madurez fisiológica¹⁴.

Respecto a las proteínas, el frijol seco también presentó un valor más alto en comparación a la semilla verde, aunque estos valores son inferiores a los reportados por otros autores para este frijol seco 24,6 g⁴, 21,6 g², 24,6¹¹, 22,9 g¹³. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el contenido de proteína en las leguminosas comestibles puede variar significativamente entre cultivos de una misma especie¹⁴.

Tabla 4. Capacidad antioxidante y contenido de fenoles totales del frijol petaco verde y seco.

Estado del frijol	FRAP ¹	ORAC ¹	Fenoles totales ²
Frijol verde	10,5 + 0,469	38,6 + 3,20	1,09 + 0,022
Frijol seco	145 + 2,51**	36,2 + 2,941	3,64 + 0,269**

¹mg EAG/muestra: 1 miligramos equivalentes de ácido gálico. ²μmol ET: Micromoles equivalentes de Trolox/g muestra. Promedio + desviación estándar, (n= 3). Frijol verde versus frijol seco: ** P<0,001.

La diferencia en el contenido de proteínas está asociada con la aplicación de fertilizantes y los lugares de cultivo, lo que influye en el rendimiento y la concentración de proteínas de algunas semillas¹⁵. Por otro lado, desde el punto de la embriogénesis de la semilla, las cubiertas seminales con desarrollo incipiente funcionan como un sumidero transitorio de nutrientes, acumulando almidón y proteínas antes de que el embrión comience a almacenar sustancias². A medida que la semilla va culminando su madurez fisiológica (desección) los niveles de proteínas se van acumulando (aumentando), las cuales se clasifican de acuerdo a su función fisiológica (enzimáticas, proteínas de reserva y proteínas estructurales)¹⁶. Este conjunto complejo de proteínas se forma en los tejidos de reserva (cotiledón, endospermo) durante la embriogénesis cigótica y tiene una relación «fuente-sumidero» con los órganos de crecimiento de la semilla durante la germinación, los cotiledones de las semillas de leguminosas pueden llegar a tener hasta un 25% de proteínas dentro de su material de reserva^{2,17}.

Respecto al contenido de lípidos o grasa total, la semilla seca presentó un valor más alto respecto al frijol verde, pero inferior a los datos informados para este parámetro por otros autores en diferentes variedades de frijol negro 15,1 g², 0,901 g¹¹, 16,1 g⁴, 19,8 g¹³, 12 g³ y así como también hay reportes de frijol petaco más altos³. Esta variación en el contenido de lípidos de la semilla verde a la seca se debe en su gran mayoría a que durante las diferentes etapas de la embriogénesis ocurre síntesis y almacenamiento de lípidos en diversos órganos de la semilla (cotiledones y endospermo), que se incrementa a medida que la semilla entra en la última etapa de maduración fisiológica (desección), en leguminosas puede ser del 6% del total de sustancias de reserva presentes en la semilla^{2,16}.

El contenido de carbohidratos totales, así como los demás parámetros de la composición proximal aumentó en el frijol seco al frijol verde. El valor reportado en nuestro estudio para carbohidratos en el frijol seco es mayor al presentado por Alvarez et al.² para este frijol 47 g, pero inferior al contenido de carbohidratos (65,8 g) presente en éste frijol producido en Nigeria¹¹, y otros autores reportan valores de carbohidratos mucho más altos al aquí observado^{4,18}. Este incremento en la cantidad de carbohidratos totales en el frijol seco se debe a que durante sus últimas etapas de madurez fisiológica, la planta hace grandes descargas de carbohidratos (almidón, inulina) a los órganos de reserva de las semillas (cotiledón y endospermo) producto de la actividad fotosintética de las hojas, y se ha reportado hasta en un 523% del total de sustancias de reserva acumuladas en la semilla durante su etapa de desección².

Es probable que durante el período de desección de la semilla, ciertos azúcares (sacarosa, rafinosa, verbascosa y estaquiosa, entre otras) reemplacen el agua sobre la superficie macromolecular, facilitando la estabilidad de las membranas^{2,16}.

Respecto al contenido calórico total y de grasa, se presentan valores de 300 Kcal y 5,78 cal respectivamente

en el frijol seco, superiores a los valores presentes en el frijol verde con 192 kcal y 1,92 cal respectivamente. Este valor de calorías en el frijol seco de la especie de *Phaseolus coccineus* recolectado en Colombia es superior al valor 221 kcal¹⁸ de frijol obtenido en México, pero inferior a 369 kcal¹¹ de frijol cultivado en África y a lo reportado en otras especies de frijoles, con valores de 337 Kcal (*P. vulgaris*), 347 kcal (*P. mungo*), 338 kcal (*P. lunatus*), 329 kcal (*P. angularis*)^{5,18}. Este valor de calorías presente en el frijol petaco seco aquí estudiado indica que esta especie proporciona energía a quien lo consuma, importante para quienes realizan actividades de alta demanda energética en las zonas rurales, por ejemplo actividad agrícola, donde los gastos de energía pueden superar las 3500 calorías/día¹⁹.

Contrario a los demás parámetros, el valor de fibra total en frijol verde fue mayor al seco, aun así, el contenido de fibra total en el frijol petaco seco fue superior a los valores publicados para este frijol por otros autores 4,63 g¹¹, 5,97 g² y 10,5 g¹⁸, pero inferior al frijol petaco cultivado en otros países ya reportados^{4,5,18}. Esta variación de fibra entre ambos estados de maduración fisiológico del frijol, puede deberse a que durante las primeras etapas de desarrollo de la semilla se presente una alta producción de carbohidratos complejos (fibra y almidón) como sustancias de reserva para las actividades metabólicas del desarrollo embrionario², pero a medida que se va secando por diferencias de humedad con el medio ambiente y variaciones en la temperatura, estas cesan su producción^{4,2,16,18}. Sin embargo, en el frijol seco la cantidad de SDF fue mayor al verde, lo que permite aportar mayor sustrato para el desarrollo de la microbiota intestinal, al igual que varios efectos benéficos para la salud como el control de la colesterolemia y de la glucemia, entre otros⁶. Por otro lado, la acidez que produce este compuesto dificulta el crecimiento de microorganismos patógenos en el intestino y genera un efecto antiinflamatorio, con una acción protectora frente a diferentes patologías del colon (colitis ulcerosa, cáncer de colon)¹⁹. Igualmente, los efectos derivados de la viscosidad de la SDF son los responsables de sus acciones sobre el metabolismo lipídico, hidrocarbonado y en parte su potencial anticarcinogénico⁶. Frente al contenido de fibra insoluble (IDF), se ve reflejado un valor menor en el frijol seco respecto al verde, siendo valores igualmente relevantes para beneficios en la salud, pues este tipo de fibra actúa principalmente en el intestino grueso aumentando el peso y el volumen de las heces, este hecho provoca una aceleración del tránsito intestinal y, por consiguiente, un efecto laxante^{18,19}. En general, la fibra dietaria llega al intestino y aquí las bacterias del colon, pueden digerirla en mayor o menor medida dependiendo de su estructura; en el colon se da la fermentación (sacarolítica y proteolítica) y se obtienen ácidos grasos de cadena corta (AGCC), gases (hidrógeno, anhídrido carbónico y metano) y energía⁶. Todos los tipos de fibra, a excepción de la lignina, pueden ser fermentados por las bacterias intestinales, aunque en general las solubles se encuentran en mayor cantidad que las insolubles⁵. La celulosa tiene una capacidad de fermentación entre el 20

y el 80%; la hemicelulosa del 60 al 90%; la fibra guar, el almidón resistente y los fructooligosacáridos tienen una capacidad del 100%, lo que indica que el porcentaje de degradación de cada una de estas sustancias puede tener un mayor o menor efecto en el aprovechamiento biológico⁶.

El análisis del contenido de minerales en el frijol, mostró que el potasio (K) fue el mineral de mayor concentración, presentó una mayor concentración en el frijol verde respecto al seco que a su vez fue inferior a lo reportado por otros autores, 1348 mg/100g (*P. vulgaris*), 1370 mg/100g (*P. mungo*), 1.919 mg/100g (*P. lunatus*), 1449 mg/100g (*P. angularis*)⁵, 1125 mg/100g (*P. vulgaris*)³, 1443 mg/100g (*P. coccineus*) especie negra, 1311 mg/100g (*P. coccineus*) morado, 1283mg/100g (*P. coccineus*) marrón, 1325 mg/100g (*P. coccineus*) blanco⁴. Esta diferencia en contenido de K se puede presentar, incluso entre las mismas especies⁴, ocasionado por variaciones en el suministro de minerales a los suelos y otros factores externos¹⁵. Se ha visto que existe una relación positiva entre Mg y K, donde el primero regula la absorción del segundo^{15,20}. En cuanto a las concentraciones de los minerales calcio (Ca), hierro (Fe) y manganeso (Mn) y zinc (Zn) son más altos en el frijol seco que en el verde, caso contrario con el sodio, donde el mayor valor se obtuvo en el frijol verde. La variación entre estos valores es diferente a los reportes hechos por otros autores a especies de *P. coccineus*^{4,11}, *P. vulgaris*⁵ y a otras especies de frijol (*P. mungo*, *P. lunatus*, *P. angularis*)¹¹. Otro mineral que presentó valor alto fue el fósforo (P) en frijol seco, y superior al valor informado por otros autores en estudios previos a éste, 342 mg/100 g (*P. coccineus*)¹¹, 463 mg/100 g (*P. vulgaris*), 403 mg/100 g (*P. mungo*), 428 mg/100 g (*P. lunatus*), 440 mg/100 g (*P. angularis*)⁵. El mineral P siempre se encuentra con Ca en el cuerpo humano para la formación de las estructuras óseas²¹. Una relación Ca/P inferior a 0,5 facilita la descalcificación ósea, mientras que la relación Ca/P superior a dos ayuda a aumentar la absorción de Ca en el intestino delgado²². Los valores de la relación Ca/P en el presente estudio están por debajo de 0,5 por cada 100 g de muestra, esto sugiere que no es una fuente de Ca importante.

La variación en el contenido de estos minerales se debe a las condiciones físicas y químicas del suelo, además del clima y otros factores externos. Los suelos de clima frío (11 °C – 21 °C) donde se cultiva el frijol generalmente son de baja fertilidad, con bajo contenido de nutrientes y desbalances nutricionales, con pH que fluctúan entre fuertemente a moderadamente ácidos (entre 4,6 y 5,5)¹⁵. En los suelos de clima frío, la materia orgánica cumple un papel preponderante en las propiedades físicas para generar suelos bien estructurados y estables, esta materia orgánica aporta mucho nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) de carácter orgánico, importante en la capacidad de intercambio catiónico de los suelos^{11,15,23}. Además, gran parte del K es orgánico, debido a que la mineralización de la materia orgánica es muy baja²⁴. De acuerdo a los porcentajes de minerales en el suelo será el desarrollo de

la planta del frijol, pues absorbe altas cantidades de N, K, Ca y en menor cantidad S, Mg y P. Se ha reportado que para la formación de vainas se requiere 32 kg/ha (N), 4 kg/ha (P), 22 kg/ha (K), 4 kg/ha (Ca), 4 kg/ha (Mg), 10 kg/ha (S) y para la formación de tallos 65 kg/ha (N), 5 kg/ha (P), 71 kg/ha (K), 50 kg/ha (Ca), 14 kg/ha (Mg), y 15 kg/ha (S)²⁵. La eficiencia del aprovechamiento de los nutrientes varía de acuerdo a las condiciones de fertilidad del suelo, la época de siembra, condiciones climáticas, manejo del sistema de cultivo, finalidad de uso del producto cosechado, sistema de irrigación²⁶. Dependiendo de la buena nutrición de los suelos será la absorción de nutrientes por etapa fenológica, embriológica y por órgano de la planta, en el cultivo de frijol, la movilización de asimilados hacia el grano es muy intensa en los últimos días del ciclo del cultivo². El frijol absorbe altas cantidades de N, distribuidas en hojas (incluidas ramas), raíz, tallos y flores (menor cantidad), en la última etapa de desarrollo la acumulación del N continúa creciendo en la planta y un aumento desmedido se da en el grano seco en el que se evidencia la mayor distribución, de lo que se puede deducir el alto contenido de proteínas en el frijol y su importancia en la alimentación¹³. En tal manera, la concentración final del nutriente disminuye en la hoja, tallo y vaina y tiene un ligero aumento en la raíz²⁵. Por otro lado, existe una disminución del contenido de P en hoja y raíz y un ligero aumento en el tallo. El contenido de P de las partes vegetativas, pasaron a concentrarse especialmente en el grano fresco (4,6 Kg/ha) y la vaina (1,5 Kg/ha), en el grano seco se da la mayor acumulación de P con 9,8 Kg/ha, y el contenido en vaina disminuye significativamente pasando a formar parte posiblemente del grano¹⁵. El K se acumula temprano en el período de crecimiento y luego es trasladado a otras áreas, en el transcurso del desarrollo el contenido del nutriente pasó a transportarse desde el follaje hacia el grano y vainas, aunque en mayor proporción en el grano, alcanzando el grado máximo de absorción²⁵. El contenido de K en hoja y raíz, respecto al ciclo anterior, disminuyeron, mientras que para el tallo aumentó, y el órgano de cosecha al final es el que logra la máxima absorción de K²⁶. El Ca se distribuye inicialmente hacia las hojas, raíces y tallo, y a medida que continúa el desarrollo, la tendencia es a acumular Ca principalmente en la hoja y finaliza concentrándose en mayor cantidad en el grano con una baja proporción en la vaina²⁵. Respecto al Mg, al comienzo del desarrollo se observa un leve aumento en las hojas, sin embargo, para la aparición de la vaina, los granos requieren Mg, en este sentido, el grano absorbe mayor cantidad que la vaina, siendo el grano seco y la vaina finalmente quienes terminan acumulando mayor cantidad de este elemento en la fase final de desarrollo^{23,25,26}.

Por último, la capacidad antioxidante FRAP del grano seco fue mayor al valor reportado para diferentes variedades de frijol *Phaseolus vulgaris* L. negro (14,1 µmol ET/g), flor de mayo (13,0 µmol ET/g), patol (7,58 µmol ET/g), pinto saltillo (5,22 µmol ET/g), teapa (17,8 µmol ET/g) y peruano (7,39 µmol ET/g)²⁷, similares a otros estudios previos^{2,28,29, 30,31,32}.

El valor ORAC, aunque fue mayor en la semilla verde la diferencia no fue significativa respecto a la semilla seca, aunque comparable con el reportado para *Phaseolus vulgaris* (21,4 a 79,2 $\mu\text{mol ET/g}$)³², y mayor al frijol común cultivado en el centro de Malawi (800 a 3054 $\mu\text{mol ET/kg}$)¹⁵ y de variedades cultivadas en España (1313 a 1604 $\mu\text{mol TE / kg}$) de *Phaseolus vulgaris*³³. Es probable que este comportamiento se pueda atribuir al contenido de compuestos fenólicos en cada una de las especies de frijol, así como a las condiciones agronómicas y a las diferencias propias de cada variedad de frijol⁴.

Los valores de capacidad antioxidante FRAP y ORAC aquí obtenidos indican que el frijol petaco contiene sustancias con capacidad para atrapar radicales libres y para reducir el ion Fe^{3+} a Fe^{2+} , respectivamente, las cuales podrían ser ácido ascórbico, iones metálicos (calcio y hierro)³⁴ y fenoles reductores (flavonoides y antocianinas), estos últimos se presentaron en mayor cantidad en la semilla seca, lo que sugiere que pueden contribuir parcialmente a la actividad antioxidante encontrada en el frijol petaco en estado seco. En relación con los fenoles totales del frijol petaco seco, su contenido fue mayor a lo reportado para variedades de *Phaseolus vulgaris* negro (1,66 mg EAG/g), patol (2,71 mg EAG/g), pinto saltillo (0,68 mg EAG/g), teapa (2,33 mg EAG/g), peruano (2,28 mg EAG/g) y flor de mayo (3,39 mg EAG/g)²⁷, pero considerablemente inferior a lo reportado para la especie de frijol *Vigna unguiculata* (47,1 mg EAG/g a 155 mg EAG/g), y las variedades de petaco mexicano negro (1.732 mg EAG/kg), morado (2.075 mg EAG/kg), marrón (1.561 mg EAG/kg), blanco (1.292 mg EAG/kg)^{4,31}. Se ha reportado que el frijol de color oscuro posee elevada actividad antioxidante, debido a la presencia de altas cantidades de compuestos fenólicos, principalmente antocianinas y taninos condensados; mientras que los frijoles claros muestran actividad antioxidante más baja^{35,36,37}. Estos valores hallados de actividad antioxidante en el frijol petaco (*P. coccineus*) son diferentes a los reportados por estudios previos^{4,28,38,39,40}. Es probable que al frijol seco se le atribuya la mayor capacidad antioxidante por tener mayor valor de compuestos fenólicos, hecho que se puede explicar desde la embriología cigótica de la semilla del frijol, puesto que durante su desarrollo final (deseccación), esta almacena una alta cantidad de compuestos fenólicos que tiene como fin inhibir la germinación temprana, una vez la semilla ha encontrado condiciones óptimas para su germinación, comienza una rápida absorción de agua que provoca alteraciones temporales en la permeabilidad diferencial de las membranas de la semilla, y por consiguiente, una pérdida al medio circundante de solutos y diferentes metabolitos de bajo peso molecular (azúcares, ácidos orgánicos, iones, aminoácidos, péptidos, etc.) y la pérdida de inhibidores germinativos (fenoles) y ácido abscísico^{2,16}.

CONCLUSIONES

El frijol petaco seco posee alto contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante FRAP, también minerales

(K, Ca, Fe, Mn, Zn y P), carbohidratos, proteínas totales, fibra total e IDF en comparación con el frijol verde. Estos hallazgos muestran que es un grano importante nutricionalmente, con capacidad antioxidante, siendo este conocimiento útil para promover acciones que apoyen su cultivo y consumo.

Financiamiento. Este trabajo fue financiado por el Comité para el Desarrollo de la Investigación (CODI) de la Universidad de Antioquia, código BUPP ES84190022 convocatoria Estrategia de Sostenibilidad para Grupos de Investigación 2020.

REFERENCIAS

1. *Handbook of Good Postharvest Practices for Grains*. 1ª ed. Buenos Aires, PRECOP, 2013, p. 40.
2. Alvarez L, Turbay S. Petaco beans (*Phaseolus coccineus*) and maravilla (*Phaedranassa* sp.): Ethnobotanical aspects of two food plants of American origin in eastern Antioquia, Colombia. *Agroalimentaria*. 2009; 15: 101-113.
3. Equino E, Garzón A, Jiménez J, Chávez J, Vera A, Carrillo J, et al. Physicochemical characterization and functional potential of *Phaseolus vulgaris* L. and *Phaseolus coccineus* L. Landrace green beans. *Agronomy*. 2021; 11: 803-811.
4. Alvarado A, Gómez L, Basilio J, Baeza R, García H, Lopez L. Nutritional and bioactive characteristics of Ayocote bean (*Phaseolus coccineus* L.): An underutilized legume harvested in Mexico. *J Food*. 2019; 17: 1-9.
5. Suárez S, Ferriz A, Campos R, Elton J, Torre K, García T. Bean seeds: Leading nutraceutical source for human health. *J Food*. 2016; 14: 1-8.
6. Kutos T, Golob T, Kac M, Plestenjak A. Dietary fibre content of dry and processed beans. *Food Chem*. 2003; 80: 1-5.
7. Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya, FENALCE. *Cereal Indicators*. 2019. <https://fenalce.co/estadisticas/>
8. Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, ICBF. *Colombian Food Composition Table*. 2018. <https://www.icbf.gov.co/bienestar/nutricion/tabla-alimentos>
9. Iris F, Benzie F, Strain J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *J Biol Chem*. 2016; 8: 1-7.
10. Giusti M, Rodriguez L, Wrolstad. Molar absorptivity and color characteristics of acylated and non-acylated pelargonidin-based anthocyanins. *J Agric Food Chem*. 1999; 47: 4631-4637.
11. Mengistu T. Effect of processing on proximate and mineral composition of black climbing (*P. coccineus* L.) bean flour. *Afr J Food Sci*. 2017; 11: 74-81.
12. Bernardino A, Acosta G, Güemes N, Montañez J, Vivar M, González L. Fourier transform infrared and Raman spectroscopic study of the effect of the thermal treatment and extraction methods on the characteristics methods on the characteristics of ayacote bean starches. *J Food Sci Technol*. 2017; 54: 933-943.
13. Cardenas H. Evaluation of the protein quality of 4 improved bean varieties. *Rev Cubana Aliment Nutr*. 2016; 25: 356-370.
14. Morales M, Peña C, García A, Aguilar G, Kohashi J. Seed and seedlings physical characteristics and seeds germination of wild and domesticated common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and their progeny. *Agrociencia*. 2017; 51: 43-52.
15. Malik A, Johansson E. Soil and starter fertilizer and its effect on yield and protein composition of malting barley. *J Plant*

Nutr Soil Sci. 2012; 12: 835-849.

16. Quintana W, Pinzón E, Torres D. Evaluation of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cv 'ica cerinza' growth, under salt stress. *Rev Act Div Cient.* 2016; 19: 87-95.
17. Barrios E, López C, Shibata J, Acosta J, Miranda S, Mayek N, et al. Bean embryo morphology and its comparison between races Durango and Jalisco. *Rev Mex Cienc Agric.* 2014; 965-978.
18. Teniente G, González L, Cariño R, Bernardino A. Characterization of ayocote beans (*Phaseolus coccineus* L.). *Rev Inv Cienc Tecnol Aliment.* 2016; 1: 1-6.
19. Viteri F, Torún B. Caloric intake and physical labor of agricultural workers in Guatemala. *Cienc Tecnol Innov Salud.* 2014; 78: 58-74.
20. Tucker M. Essential plant nutrients: Their presence in North Carolina soils and role in plant nutrition. *Rev Agron.* 1999; 3: 1-9.
21. Shao Y, Hu Z, Yu Y, Mou R, Zhu Z, Beta T. Phenolic acids, anthocyanins, proanthocyanidins, antioxidant activity, minerals and their correlations in non-pigmented, red, and black rice. *Food Chem.* 2018; 239: 733-741.
22. Elamin M, Abbas K. Chemical composition and amino acids profile of *Leucaena leucocephala* seeds. *Int Poult Sci.* 2009; 8: 966-970.
23. Bolanle A, Funmilola A, Adedayo A. Proximate analysis, mineral contents, amino acid composition, anti-nutrients and phytochemical screening of *Brachystegia Eurycoma* Harms and *Pipper Guineense* Schum and Thonn. *Am J Food Nutr.* 2014; 2: 11-17.
24. Arias J, Rengifo T, Jaramillo M. Good agricultural practices in the production of voluble beans. CTP Print Ltda., Colombia, 2018.
25. Sanchez J, Barrientos M, Balderas I, Dasgupta N, Márquez L. Bean responds to Endospor 33® at reduced dose of nitrogen and phosphate fertilizer in protected agriculture. *Sci Agropecu.* 2014; 5: 77-83.
26. Sanchez S, Hernández M, Ruz F. Management alternatives of soil fertility in livestock production ecosystems. *Cult Trop.* 2011; 34: 375-392.
27. Coraspe H, Muraoka T, Franzini V, Piedade S, Prado N. Macronutrient absorption by potato plants (*Solanum tuberosum* L.) in tuber-seed production. *Interciencia.* 2009; 34: 57-63.
28. Pérez L, Toro C, Sánchez E, González R, Reyes A, Borboa J, et al. Bioaccessibility of antioxidant compounds from different bean varieties (*Phaseolus vulgaris* L.) in Mexico, through an in vitro gastrointestinal system. *Biotecnia.* 2019; 22: 117-125.
29. Chang C, Yang M, Wen H, Chern J. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colometric methods. *J Food Drug Anal.* 2002; 10: 178-182.
30. Huber K. Phenolic acid, flavonoids and antioxidant activity of common brown beans (*Phaseolus vulgaris* L.) before and after cooking. *J Nutr Food Sci.* 2016; 6: 1-8.
31. Rocha N, Ibarra F, González R, Gallegos J. Effect of pressure cooking on the antioxidant activity of extracts from three common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Food Chem.* 2007; 100: 31-35.
32. Gálvez L, Genovese M, Lajolo F. Effect of different cooking conditions on phenolic compounds and antioxidant capacity of some selected Brazilian bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *J Agric Food Chem.* 2009; 57: 5734-5742.
33. Xu B, Chang S. Total phenolic, phenolic acid, anthocyanin, flavan-3-ol, and flavonol profiles and antioxidant properties of pinto and black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by thermal processing. *J Agric Food Chem.* 2009; 57: 4754-4764.
34. Pedrosa M, Cuadrado C, Burbano C, Muzquiz M, Cabellos B, Olmedilla B, et al. Effects of industrial canning on the proximate composition, bioactive compounds contents and nutritional profile of two Spanish common dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chem.* 2015; 166: 68-75.
35. Herrera T, Ortiz J, Delgado A, Acosta J. Osmoprotectants content, ascorbic acid and ascorbate peroxidase on bean leaves under drought stress. *Rev Mex Cienc Agric.* 2014; 5: 859-870.
36. Cruz R, Guevara R, Ramos M, Garcia T, Campos R, Oomah B, et al. Fermented nondigestible fraction from common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Cultivar negro 8025 modulates HT-29 cell behavior. *J Food Sci.* 2011; 76: 41-47.
37. Garcia Y, Equino E, Capistrán A, Chávez J. Quantification of phenolic compounds and antioxidant activity in beans. *Emir J Food Agric.* 2017; 72: 105-113.
38. Iniestra J, Ibarra F, Gallegos J, Rocha N, González R. Antinutritional factors and antioxidant activity in improved varieties of common bean (*Phaseolus vulgaris*). *Agrociencia.* 2005; 39: 603-610.
39. Oomah B, Corbé A, Balasubramanian P. Antioxidant and anti-inflammatory activities of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) hulls. *J Agric Food Chem.* 2010; 58: 8225-8230.
40. Puertas M, Mosquera N, Rojano B. Study of in vitro antioxidant capacity of *Phaseolus vulgaris* L. (frijol) by microwave assisted extraction. *Rev Cuba Plant Med.* 2016; 21: 42-50.